

Отзыв официального рецензента
Жунусова Аблая Каиртасовича,
к.т.н., профессора, заведующего кафедрой «Металлургия»
НАО «Торайгыров университет»
на диссертационную работу Бекбаевой Лэззэт Акылбайқызы,
на тему «Развитие кластерно-ассоциатной теории жидкости применительно к вязкости
расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов»,
представленную на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 8D07203 - «Металлургия»

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно- технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан.	Тема диссертации соответствует приоритетному направлению развития науки по специальности «Металлургия». Работа направлена на развитие кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния применительно к вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов. Рассматриваемые вопросы связаны с разработкой новых теоретических подходов к описанию температурной зависимости вязкости расплавов, совершенствованием методов ее прогнозирования, а также использованием полученных результатов для оптимизации процессов плавки, литья, рафинирования и других металлургических технологий. Разработанная модель способствует повышению точности расчета физико-химических свойств расплавов и расширяет возможности математического моделирования металлургических процессов.
2.	Важность для науки	Работа вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта.	Следует отметить, что предложенный подход отличается высокой степенью научной оригинальности. В отличие от большинства известных моделей, основанных преимущественно на структурном описании жидкости, автор рассматривает жидкое состояние как систему, в которой определяющую роль играют хаотизированные виртуальные частицы и процессы их ассоциации. Подобный подход позволяет

			существенно расширить область применения существующей кластерно-ассоциатной концепции и по-новому интерпретировать механизмы вязкого течения. Особого внимания заслуживает выполненная согласованность уравнения Френкеля и новой кластерно-ассоциатной модели жидкости. Предложенная автором математическая интерпретация позволила получить расчетные зависимости, пригодные для описания температурной зависимости вязкости широкого круга сложных неорганических веществ и металлических сплавов. Научная новизна диссертации не вызывает сомнений. Наиболее значимыми результатами являются дальнейшее развитие кластерно-ассоциатной теории жидкости применительно к вязкости расплавов, введение количественной оценки степени ассоциации кластеров и степени агрегации ассоциатов, определение энергии активации вязкого течения на основе уравнения Френкеля, определение удельной энергии активации, а также выявление закономерной взаимосвязи между степенью ассоциации кластеров и положением элементов в периодической системе Д.И. Менделеева. Следует отметить, что полученные результаты обладают признаками научной новизны и существенно дополняют существующие представления о природе вязкости жидкого состояния.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) высокий.	Личный вклад Бекбаевой Л.А. заключается в постановке цели и задач исследования, анализе современного состояния проблемы вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов, развитии кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния, разработке математической модели температурной зависимости вязкости расплавов, проведении вычислительных исследований, обработке и анализе экспериментальных данных, а также проверке адекватности предложенной модели на расплавах неорганических соединений.

			металлических сплавов и шлаковых систем. Автором самостоятельно выполнены модификация расчетных зависимостей, определение параметров кластерно-ассоциатной модели, оценка энергии активации вязкого течения, сопоставление расчетных и экспериментальных результатов и обоснование возможности практического применения разработанной модели в металлургических процессах. На основе выполненных исследований автором проведено обобщение полученных результатов, сформулированы основные научные положения, выводы и практические рекомендации диссертационной работы.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) обоснована.	Автором убедительно обоснована актуальность выбранной темы исследования. Показано, что повышение точности прогнозирования вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов является важной научной и практической задачей современной металлургии. Особое внимание уделено развитию кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния и созданию обобщенной модели, обеспечивающей описание температурной зависимости вязкости в широком диапазоне температур. Предлагаемые решения имеют как фундаментальное значение для развития теорий жидкого состояния, так и практическую ценность для совершенствования металлургических технологий.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) отражает.	Содержание диссертации ясно и полно отражает заявленную тему. Первый раздел раскрывает состояние вопроса и анализ современного состояния исследований в области вязкости расплавов сложных неорганических соединений и металлических сплавов. Во втором разделе представлены основные положения разработанной автором теоретической модели. В третьем разделе автор последовательно реализует разработанный теоретический подход применительно к расплавам сложных

			неорганических соединений. Четвертый раздел посвящен развитию предложенного подхода применительно к металлическим сплавам на примере фазовых диаграмм состояния системы Cu-Sn. В пятом разделе представлена экспериментальная проверка разработанной модели на многокомпонентной шлаковой системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-10\%Al}_2\text{O}_3\text{-10\%MgO-MnO}$.
		4.3 Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) соответствует.	Поставленная цель исследования и сформулированные задачи полностью соответствуют теме диссертации и логично вытекают из поставленной научной проблемы. Задачи охватывают анализ современного состояния исследований в области вязкости расплавов, развитие кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния, разработку математической модели температурной зависимости вязкости, определение энергии активации вязкого течения и экспериментальную проверку предложенного подхода. Решение поставленных задач позволило автору последовательно достичь цели исследования.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) полностью взаимосвязаны.	Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны и последовательно раскрывают содержание исследования. Анализ современного состояния теории жидкого состояния и существующих моделей расчета вязкости служит основой для разработки модифицированной кластерно-ассоциатной модели. Предложенные теоретические положения подтверждаются результатами математического моделирования и сопоставлением с экспериментальными данными по вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем. Полученные результаты доведены до практических рекомендаций по прогнозированию вязкостных характеристик расплавов и их использованию при моделировании и оптимизации металлургических процессов.
		4.5 Предложенные	Диссертант, основываясь на результатах

		автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) критический анализ есть.	собственных исследований и анализе отечественных и зарубежных научных публикаций, аргументированно обосновывает предложенные научные решения. В работе выполнен критический анализ существующих теоретических моделей описания вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов, выявлены их основные ограничения, связанные с недостаточной точностью прогнозирования и ограниченной областью применимости. На основе проведенного анализа предложена модифицированная кластерно-ассоциатная модель жидкого состояния, позволяющая более адекватно описывать температурную зависимость вязкости расплавов в широком диапазоне температур.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) полностью новые.	Все научные результаты и положения, представленные автором в диссертации, являются новыми и оригинальными. Научная новизна работы заключается в развитии кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния применительно к расплавам сложных неорганических веществ и металлических сплавов, разработке обобщенной модели температурной зависимости вязкости, сопоставлении кластерно-ассоциатной модели с уравнением Френкеля, определении энергии активации, удельной энергии активации вязкого течения расплавов, а также в установлении закономерностей, позволяющих прогнозировать вязкость на основе фазовых диаграмм состояния и термодинамических характеристик исследуемых систем.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые.	Выводы работы являются логически обоснованными и базируются на результатах выполненных теоретических и экспериментальных исследований. Они подтверждают достоверность разработанной кластерно-ассоциатной модели, возможность ее использования совместно с уравнением Френкеля для описания температурной зависимости вязкости расплавов и определения

			удельной энергии активации вязкого течения. Полученные результаты имеют научное и практическое значение для дальнейшего развития теории жидкого состояния и решения прикладных задач металлургии.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными? 1) полностью новые.	Принятые автором научные решения для достижения поставленной цели отличаются новизной, теоретической обоснованностью и практической значимостью. Предложено дальнейшее развитие кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния, разработана обобщенная модель температурной зависимости вязкости расплавов, выполнено сопоставление кластерно-ассоциатной модели с уравнением Френкеля, определена удельная энергия активации вязкого течения, а также показана возможность прогнозирования вязкости расплавов на основе фазовых диаграмм состояния и термодинамических характеристик исследуемых систем. Практическая ценность полученных результатов подтверждается их апробацией на различных расплавах и шлаковых системах, публикацией результатов исследования в рецензируемых научных изданиях, получением свидетельства об авторском праве и внедрением результатов в учебный процесс.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах? Да.	Все основные выводы, представленные в диссертации, являются достоверными и научно обоснованными. Их достоверность подтверждается результатами аналитических исследований, разработкой кластерно-ассоциатной модели вязкости, сопоставлением полученных зависимостей с уравнением Френкеля, сравнением расчетных и справочных данных для расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем, а также установленными закономерностями изменения степени ассоциации кластеров, удельной энергии активации вязкого течения и взаимосвязи вязкости с фазовыми диаграммами состояния.

			Полученные результаты свидетельствуют об адекватности предложенной модели и возможности ее использования для прогнозирования вязкости расплавов в широком диапазоне температур.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) да. 7.2 Является ли тривиальным? 2) нет. 7.3 Является ли новым? 1) да. 7.4 Уровень для применения? 3) широкий. 7.5 Доказано ли в статье? 1) да.	Основные положения, выносимые на защиту, являются научно обоснованными и подтверждены результатами теоретических исследований, математического моделирования и сопоставлением с экспериментальными данными. Доказано существование и определяющая роль кластеров в формировании вязкости расплавов, разработана кластерно-ассоциатная модель температурной зависимости вязкости, подтверждена ее согласованность с уравнением Френкеля, определены значения энергии активации и впервые рассчитана удельная энергия активации вязкого течения. Обоснована взаимосвязь вязкости металлических сплавов с фазовыми диаграммами состояния и показана возможность прогнозирования вязкостных характеристик расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем. Основные положения обладают научной новизной, имеют теоретическую и практическую значимость и нашли отражение в опубликованных научных работах автора.
8.	Принцип достоверности: достоверность источников и представляемой информации	8.1 Выбор методологии основан или методология достаточно подробно описана: 1) да.	Методология исследования подробно изложена и обоснована в соответствующих разделах диссертационной работы. В процессе исследования использованы современные общенаучные и специальные методы: анализ отечественной и зарубежной научной литературы, положения концепции хаотизированных частиц, математическое моделирование, вероятностный подход к описанию процессов образования кластеров, обработка и анализ экспериментальных данных по вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем, а также методы статистической оценки точности полученных результатов.

		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) да.	В диссертационной работе использованы современные методы научного исследования и обработки данных с применением вычислительной техники. Выполнено математическое моделирование температурной зависимости вязкости на основе разработанной кластерно-ассоциатной модели. проведена обработка и систематизация экспериментальных и справочных данных по вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем. Достоверность полученных результатов подтверждена сопоставлением расчетных зависимостей с экспериментальными данными, анализом коэффициентов корреляции и оценкой адекватности разработанной модели.
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием: 1) да.	Проведенные исследования, анализ экспериментальных данных и полученные результаты находятся в хорошем соответствии с разработанными теоретическими положениями и выявленными закономерностями. Адекватность предложенной кластерно-ассоциатной модели подтверждена сопоставлением расчетных и экспериментальных данных по вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем. Полученные результаты подтверждают выявленные закономерности изменения степени ассоциации кластеров, энергии активации вязкого течения и взаимосвязи вязкости с фазовыми диаграммами состояния.
		8.4 Важные утверждения подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу? 1) да.	Все значимые научные положения и выводы, представленные в диссертации, подтверждаются ссылками на современные отечественные и зарубежные научные публикации. В работе использованы фундаментальные и прикладные исследования в области физики жидкого состояния, металлургии, физико-химии расплавов, теории вязкости, кластерных моделей жидкости, термодинамики, статистической физики, а также труды, посвященные

			экспериментальным исследованиям вязкости сложных неорганических соединений, металлических сплавов и шлаковых систем.
		8.5 Используемые источники литературы достаточны для литературного обзора? 1) достаточны.	Используемые источники литературы актуальны и достаточны для осуществления литературного обзора в рамках диссертационного исследования. В работе приведены ссылки на отечественные и зарубежные публикации, нормативные документы, стандарты, монографии, патентные материалы и статьи в рецензируемых научных изданиях.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) да.	Диссертационная работа имеет существенное теоретическое значение, поскольку дальнейшее развитие кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния позволило разработать обобщенную модель температурной зависимости вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов. Теоретически обоснована взаимодополняемость кластерно-ассоциатной модели и уравнения Френкеля при описании вязкости расплавов, определены значения энергии активации вязкого течения и впервые рассчитана удельная энергия активации вязкого течения. Полученные результаты расширяют теоретические представления о природе вязкости расплавов и механизмах ее формирования.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике? 1) да.	Диссертация обладает значительной практической ценностью, а полученные результаты имеют высокую вероятность практического использования. Разработанная кластерно-ассоциатная модель позволяет прогнозировать температурную зависимость вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем в широком диапазоне температур, определять энергию активации и удельную энергию активации вязкого течения, а также использовать фазовые диаграммы и термодинамические характеристики для оценки вязкостных свойств расплавов. Полученные результаты могут быть

			использованы при моделировании и оптимизации процессов плавки, литья и рафинирования, а также при выборе рациональных технологических режимов металлургических агрегатов.
		9.3 Предложение для практики является полностью новым? 1) полностью новые.	В диссертации представлены научные решения, обладающие практической значимостью и перспективами использования в металлургической практике. Разработанная кластерно-ассоциатная модель позволяет рассчитывать и прогнозировать вязкость расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем в широком диапазоне температур, определять энергию активации и удельную энергию активации вязкого течения, а также использовать фазовые диаграммы и термодинамические характеристики для оценки вязкостных свойств расплавов. Предложенные решения могут быть использованы при моделировании, проектировании и оптимизации металлургических процессов плавки, литья и рафинирования.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое.	Качество академического письма высокое. Диссертация Бекбаевой Л.А. является законченной научно-квалификационной работой, имеет логичную структуру, единый стиль изложения, достаточное количество таблиц, рисунков и расчетных данных. Материал изложен последовательно, выводы сформулированы ясно и соответствуют поставленным задачам исследования.
11.	Замечания к диссертации	Замечаний и возражений по диссертационной работе не имеется.	
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют)	Научный уровень статей докторанта по теме исследования соответствует требованиям, предъявляемым к научным работам уровня доктора философии (PhD). Основные положения диссертации представлены в статьях Relationship between temperature dependence of viscosity of Cu-Sn alloys and phase diagram of state // Non-Ferrous Metals (Russia), 2023. – Vol. 54, Issue 1. – P. 49-54., входящего в базу данных Scopus, процентиль - 41; Cluster-associate viscosity model of tin chloride in comparison with the Frenkel model // Heat Transfer (USA), 2024. – Vol. 53, Issue 2. – P. 495-511, входящего в базу данных Scopus, процентиль - 82; а также в шести статьях, опубликованных в	

	научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК, и в восьми публикациях в сборниках международных научно-практических конференций. По результатам исследования получено свидетельство о внесении сведений в Государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом.
13.	Решение официального рецензента	Диссертационная работа Бекбаевой Лэззат Акылбайқызы на тему «Развитие кластерно-ассоциатной теории жидкости применительно к вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов», представленная на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07203 – «Металлургия», выполнена на высоком научном уровне в соответствии с целью и задачами исследования. Диссертация характеризуется внутренним единством и содержит ряд новых обоснованных результатов, которые обладают научной новизной и практической значимостью. Автором разработана кластерно-ассоциатная модель температурной зависимости вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем, обоснована взаимодополняемость кластерно-ассоциатной модели и уравнения Френкеля, определены энергия активации и удельная энергия активации вязкого течения, а также установлены закономерности изменения степени ассоциации кластеров и взаимосвязь вязкости с фазовыми диаграммами состояния металлических сплавов. Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании вязкости расплавов, математическом моделировании высокотемпературных металлургических процессов, оптимизации режимов плавки, литья и рафинирования, а также при разработке новых металлургических технологий и исследовании свойств многокомпонентных расплавов. Диссертационная работа соответствует требованиям Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Республики Казахстан, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD). На основании изложенного, в соответствии с пунктом 28 Типового положения, диссертационная работа «Развитие кластерно-ассоциатной теории жидкости применительно к вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов» отличается высоким научным уровнем, завершенностью исследования и обоснованностью полученных результатов, что позволяет рекомендовать соискателя Бекбаеву Лэззат Акылбайқызы к присуждению ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07203 – «Металлургия».

К.т.н., профессор, заведующий кафедрой
«Металлургия» НАО «Торайгыров университет»

А.К. Жунусов

Подпись официального рецензента заверяю:

ФИО

Жунусов А.К.
АК